

Bedienungsanleitung

Potentiostat/Galvanostat 1002 PC.T.



Fragen und Anregungen richten Sie bitte an:

Jaissle Elektronik GmbH Spitalhaldenweg 4 71336 Waiblingen		Ingenieurbüro Peter Schrems Am Eppertshäuser Pfad 2 64839 Münster eMail: ibschrems@ips-jaissle.de Internet: www.ips-jaissle.de	
Telefon:	07151/81112	Telefon:	06071/612 403
Fax:	07151/28204	Fax:	06071/612 404

Einleitung

Der Potentiostat/Galvanostat ist ein schnelles und präzises Regelgerät zur Untersuchung elektrochemischer Prozesse. Die Geräte wurden in der Vergangenheit überwiegend in der Korrosionsforschung eingesetzt. Mittlerweile ergeben sich aber immer neue Anwendungsmöglichkeiten in Bereichen Biochemie und der Biosensorik.

Die Geräte der Firma Jaisle sind grundsätzlich in Analogtechnik aufgebaut, was bedeutet, daß die Geräte praktisch keine Störstrahlung haben und somit dem elektrochemischen Prozeß nicht störend beeinflussen. Außerdem sind die Geräte sehr schnell, da die Regelgeschwindigkeit nur von den Anstiegszeiten der verwendeten Bauelemente abhängt. Laufzeitverzögerungen durch digital berechnete Regel- oder Filterfunktionen gibt es nicht.

Alle Jaisle-Potentiostaten können grundsätzlich eigenständig betrieben werden, d.h. sie sind mit allen Anzeigen- und Bedienelementen für den Stationären Betrieb ausgestattet. Weiterhin sind alle Geräte mit den für eine Computersteuerung notwendigen Ein- und Ausgängen ausgerüstet. Somit sind die Potentiostaten universell einsetzbar.

Da diese Eigenschaften auch auf die älteren Geräte der Firma Jaisle zutreffen, können auch diese Geräte mit einer Computersteuerung nachgerüstet werden.

Wichtiger Hinweis:

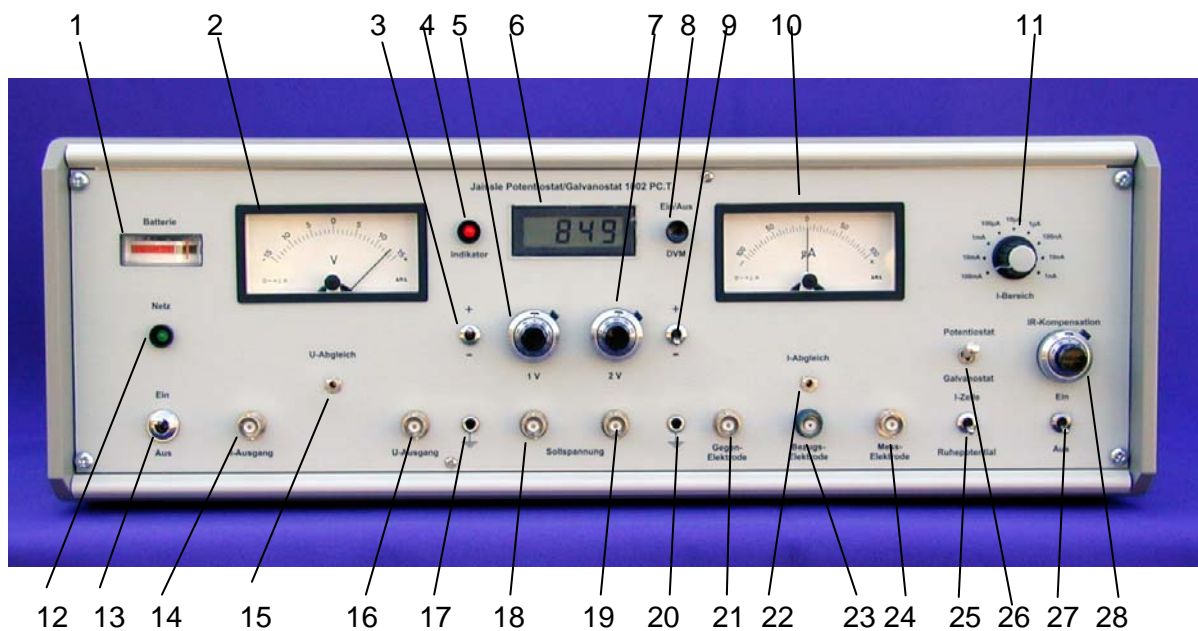
Das Regelverhalten der Potentiostaten ist weder gedämpft noch durch irgendwelche Hoch-, Tief- oder Bandpaß-Filter eingeschränkt. Die Geräte arbeiten über die gesamte spezifizierte Bandbreite stabil. Es kommt daher immer wieder vor, daß Kunden bei Ihren Messungen Rauschen oder instabiles Regelverhalten bemerken, was möglicherweise bei Geräten anderer Hersteller nicht auftritt.

Dieses Verhalten ist in praktisch allen Fällen den **Umgebungseinflüssen** zuzuordnen. Hat der verwendete Elektrolyt eine geringe Leitfähigkeit, so wird die Meßanordnung durch den hochohmigen Meßeingang für die Bezugselektrode regelrecht zu einer Antenne. Der Potentiostat versucht diese Störsignale zu regeln, was zu den genannten Instabilitäten führt.

Wir sind der Auffassung, daß vor Schaltungstechnischen Maßnahmen zumindest im Laborbetrieb immer zuerst die Meßanordnung abgeschirmt werden sollte. Idealerweise sollte die Meßzelle in einen Faradaykäfig gestellt werden. Zeigt sich im Laborbetrieb, daß im Feldeinsatz Filter eingesetzt werden müssen, so steht dem nichts im Wege. Wird aber schon im Laborbetrieb mit Filtern gearbeitet, so kann es passieren, daß wichtige Informationen zur Beurteilung des Systems einfach fehlen.

Sollte ein solcher Fall bei Ihnen auftreten, sprechen Sie uns an. Wir unterstützen Sie gerne mit unseren Erfahrungen.

Anzeige und Bedienelemente



1. Zustandsanzeige eingebaute Akkus.
2. Anzeigeelement Ansteuerspannung des Potentiostaten bis +/- 13V zwischen Gegenelektrode und Meßelektrode.
3. ± Polaritätsschalter für interne Sollspannung, max. 1V.
4. Indikator bei Freiem Korrosionspotential und Übersteuerungsanzeige.
5. Potentiometer zum Einstellen des internen Sollwertes 1V.
6. Das Digitalvoltmeter zeigt das Potential Bezügelektrode gegen Meßelektrode.
7. Potentiometer zum Einstellen des internen Sollwertes 2V.
8. Ein / Aus Schalter für Digitalvoltmeter (DVM) Sollspannung.
9. ± Polaritätsschalter für interne Sollspannung, max. 2V.
10. Analog Anzeige des in der Zelle fließenden Stromes. ± 0 bis 100 % des eingestellten I-Bereiches (Ring).
11. Strom-Bereichsschalter 100 mA bis 1 nA.
12. Kontrollanzeige, Netz-Stromversorgung eingeschaltet, d.h. die Akkus werden geladen.
13. Kippschalter Potentiostat Ein/Aus.
14. Strom in der Elektrochemischen Zelle. Der Ausgang liefert einen dem eingestellten Strombereich proportionalen Spannungswert (max. ± 10V entspricht Vollausschlag des Zeigerinstrumentes).
15. U-Abgleich des Potentials.
16. Ausgang Potential Bezügelektrode gegen Meßelektrode.
17. Erdungsbuchse.
18. Eingang für externe Sollspannung (Scanner von ELCM-Kit).
19. Zweiter Eingang für externe Sollspannung (Scanner von ELCM-Kit) (arbeiten addierend).
20. Erdungsbuchse.
21. Anschluß der Gegenelektrode
22. Null-Abgleich des I-Bereich Instruments.
23. Anschluß der Bezügelektrode
24. Anschluß zur Mess-Elektrode
25. Umschalter für die Betriebsarten Freies Korrosionspotential / I-Zelle.
26. Umschalter für die Betriebsarten Potentiostat / Galvanostat
27. Schalter zum Einschalten der IR-Kompensation
28. Potentiometer zum Einstellen der IR-Kompensation

Auf der Rückseite ist der Potentiostat mit folgenden BNC-Buchsen ausgestattet:



- Position des I-Bereichs Schalters, 100 mA = 9V ... 1nA = 1V. Dient zur Erkennung des I-Bereiches und zur Berechnung des Stromes bzw. der Stromdichte in unserer Software **EcmWin**.
- Strom-Ausgang zum externen Meßgerät mit Besselfilter
- Sollspannungseingang (addierend zu den Fronteingängen)
- Strom-Ausgang mit Verstärker (10V x 10)
- Steuereingang für die Betriebsarten Ruhepotential / I-Zelle für Ring und Scheibe, Ein = 5V TTL-Pegel.
- Stromausgang max. 1V proportional

Der mit Computer bezeichnete Stecker ist derzeit nicht belegt.

Stromversorgung

Der Potentiostat wird an das 230V Stromversorgungsnetz angeschlossen. In dem Anschlußmodul mit Kaltgerätestecker und Schalter ist oben ein Sicherungshalter eingebaut, der gleichzeitig eine Spannungswahl beinhaltet. Es kann für 110V Versorgungsnetze gedreht werden.

Die in dem Halter eingesetzten Sicherungen sind 0,315A träge oder 0,5A mittelträge.

Die beiden mit 2A beschrifteten Sicherungshalter sichern den Sekundärstromkreis hinter dem Transformator ab. Hier sind 2A mittelträge oder 1,6A träge Sicherungen einzusetzen.

Direkt hinter dem Transformator ist eine Stabilisierungsschaltung, über welche die eingebauten Akkus aufgeladen werden. Der Potentiostat wird von den Akkus über eine weitere Stabilisierung mit +/- 15V gespeist.

Ist der Netzstecker gesteckt und der Schalter auf Ein, dann werden die Akkus geladen und der Potentiostat gespeist (wenn eingeschaltet). Die Anzeige erfolgt über die fronseitige Leuchtdiode **Netz**. Ist das Netz ausgeschaltet, dann wird der Potentiostat aus den Akkus gespeist. Der Ladezustand der Akkus wird an dem Instrument **[1]** angezeigt. Unterschreitet die Akkuspannung einen bestimmten Wert, dann schaltet der Potentiostat ab. Die Betriebsdauer der Akkus beträgt je nach Belastung zwischen 10 und 20 Stunden.

Wurden die Akkus stark entladen, dann ist es ratsam, nicht sofort nach dem Anschluß der Stromversorgung eine Messung zu starten. Die Stromaufnahme ist in der ersten halben Stunde so hoch, daß die Stabilisierung es nicht schafft, die Versorgungsspannung vollständig zu glätten.

Definition einiger wichtiger Begriffe:

Freies Korrosionspotential: Bezeichnet das Potential, das sich in der Meßzelle zwischen der Meßelektrode und der Bezugslektrode einstellt, wenn der Meß- bzw. der Regelkreis geöffnet ist und kein Strom zwischen Gegenelektrode und Meßelektrode fließen kann. In der Vergangenheit und bei der Gerätebeschriftung vielfach auch **U-RUHE** oder **Ruhepotential** genannt.

Die Aufgaben des Potentiostaten sind:

- Messen des freien Korrosionspotentials einer oder zwei Mess- (Arbeits) Elektrode gegen das Potential einer Bezugslektrode bei geöffnetem Stromkreis.
- Konstanthalten des Potentials der Meßelektrode(n) gegen die Bezugslektrode bei geschlossenem Stromkreis.
- Verändern des Potentials der Messelektrode(n) entsprechend einer internen oder externen Sollspannung durch Änderung des in der elektrochemischen Zelle fließenden Stromes. Das Sollpotential kann stationär, quasistationär oder dynamisch sein.

Wirkungsweise

Der Potentiostat ist ein Regelgerät, das die Aufgabe hat, die Meßelektrode einer elektrochemischen Zelle auf einem konstanten, mit dem Sollspannungsgeber einstellbaren Potential gegenüber einer Bezugslektrode zu halten. Zu diesem Zweck verstärkt der Potentiostat jede kleine Abweichung des Potentials der Meßelektrode von der Sollspannung und regelt damit den durch die Zelle, zwischen Meßelektrode und Gegenelektrode fließenden Strom.

Inbetriebnahme

Wenn Sie das erste Mal mit einem Potentiostaten arbeiten, sollten Sie das Gerät zunächst manuell bedienen um sich mit den Gegebenheiten einer elektrochemischen Zelle vertraut zu machen. Die manuelle Betriebsart ist auch sinnvoll, wenn Sie neue Materialien untersuchen wollen und nicht genau wissen, wie das System einzustellen ist. Erst wenn Ihnen die Arbeitsweise klar ist und Sie die Eckdaten für Ihre Messung einschätzen können, sollten Sie den Computer bzw. die Software einsetzen.

Vor der Inbetriebnahme des Potentiostaten beachten Sie bitte folgenden Punkte:

Der **1002 PC.T.** arbeitet sowohl im Netz- als auch im Batteriebetrieb. Im Gerät sind zwei 24V Akkus eingebaut. Bei Vollast reicht dies für einen Dauer von ca. 8 bis 10 Stunden. Für einen einwandfreien Betrieb muß der Zeiger des Indikators im schwarzen Bereich sein.

Mit dem Kippschalter Netz **[13]** wird das Geräte eingeschaltet. Ist keine Meßzelle angeschlossen, so zeigt das Gerät möglicherweise ein unsinniges Potential an. Die Stromanzeige steht auf Null. Stellen Sie den Kippschalter **[25]** auf Ruhepotential, bevor Sie die Meßzelle anschließen. Damit ist sichergestellt, daß kein Strom die Zelle belastet.

Potentiostatische Messung

Den Kippschalter Ruhepotential/I-Zelle **[25]** auf Ruhepotential, und den Kippschalter Potentiostat / Galvanostat **[26]** in Stellung Potentiostat schalten.

Nun kann die Meßzelle ohne Gefahr an den Potentiostaten angeschlossen werden. Es fließt kein Strom durch die Zelle.

Ist die Meßzelle angeschlossen, so zeigt das Digitalvoltmeter **[6]** das freie Korrosionspotential zwischen der Meßelektrode und der Bezugelektrode (Anzeige ohne Komma in mV). Die Indikator-LED **[4]** leuchtet, da das freie Korrosionspotential die Verstärker durchsteuert. Es fließt kein Strom in der Zelle.

Das Freie Korrosionspotential sollte ruhig auf einem Wert stehen oder langsam driftend einem Endwert zustreben. Springt das Potential, so ist normalerweise ein Fehler im Aufbau der Meßzelle. Möglicherweise ist eine Luftblase im Stromschlüssel oder in der Bezugelektrode.

- Sind alle elektrischen Verbindungen in Ordnung ?
- Wird die Meßelektrode und der Stromschlüssel ausreichend von dem Elektrolyten umspült ?

Prüfen Sie diese Punkte und stellen Sie sicher, daß das angezeigte freie Korrosionspotential stabil ist. Nur dann hat es Sinn, die Messung fortzusetzen.

Hat sich ein stabiles Potential eingestellt so können Sie nun mit dem Kippschalter **[3]** die Polarität die das Ruhepotential der Elektrode hat, wählen. In den meisten Fällen wird sich ein Potential zwischen ± 1000 mV einstellen. Nun drehen Sie das Sollwert-Potentiometer (**[5]**) nach rechts. Beobachten Sie den Indikator **[4]**. Ist die Sollspannung gleich dem freien Korrosionspotential, erlischt die Indikator-LED. Nun kann das Potentiometer arretiert werden (speichern des Ruhepotentials) und gefahrlos auf I-Zelle **[25]** geschaltet werden.

Anmerkung:

Durch die hohe Verstärkung der internen Regelverstärkers wird es nicht immer gelingen, das die Indikator-LED ganz erlischt. Dies ist aber auch nicht nötig. Bereits ein kurzes Erlöschen bedeutet, daß das Ruhepotential auf Bruchteile eines mV genau eingestellt wurde. Wenn das Ruhepotential konstant bleibt, fließt kein Strom, wenn auf I-Zelle geschaltet wird.

Nun kann mit dem zweiten internen Sollspannungs-Geber [7] oder auch von extern kathodisch oder anodisch polarisiert werden. Die Polarität bezieht sich dabei auf die Meßelektrode. Achten Sie auf die Anzeige des Strom-Instrumentes [10] und stellen Sie ggf. den I-Bereichsschalter [11] so, daß der Zeiger im oberen Bereich der Skala ist.

Die Indikator-LED übernimmt jetzt die Funktion als Übersteuerungsanzeige. Leuchten die LED so ist die maximale Ausgangsspannung des Potentiostaten erreicht. In diesem Fall ist eine sichere Potentialregelung nicht mehr gewährleistet. Außerdem wird die Aussteuerspannung auch noch an dem Instrument [3] angezeigt.

Zur Registrierung der Messung können Sie an die Buchsen U-Ausgang [16] und I-Ausgang [14] einen Kennlinien-Schreiber anschließen. An den Buchsen Sollspannung [18,19] können beliebige Sollspannungen wie z.B. Sinus, Dreieck, Rechteck der internen Sollspannung überlagert werden. Wollen Sie die Ansteuerung und die Registrierung komfortabel gestalten so können Sie dies natürlich auch mit einem unserer ELCM-Kit's in Verbindung mit unserer Software **EcmWin**.

Achtung:

Die Mess-Elektrode liegt virtuelle an Erde, sie darf deshalb nicht geerdet werden. Die Abschirmung des Kabels zur Bezugselektrode darf ebenfalls nicht geerdet werden. Durch eine spezielle Schaltung wird die Kabelkapazität kompensiert.

Galvanostatische Messung

Der **1002PC.T** kann als Potentiostat oder Galvanostat eingesetzt werden. Soll das Gerät als Galvanostat arbeiten, so schalten Sie den Potentiostat zunächst auf Ruhepotential und prüfen Sie, daß die Potentiometer [5,7] auf Null sind. Dann schalten Sie den Kippschalter Potentiostat/Galvanostat. [26] in Stellung Galvanostat. Wenn Sie nun auf I-Zelle [25] schalten, darf in der Zelle kein Strom fließen. Erst wenn Sie eines der Potentiometer [5,7] hochdrehen, fließt in der Zelle ein Strom. Die Polarität des Zellenstromes wird mit den Kippschaltern [3,9] eingestellt. Die Größe des Stromes wird am Bereichsschalter I-Bereich [11] in mA gewählt, d.h. Sie können mit dem Potentiometer eine Strom von Null bis zu dem durch den Bereichsschalter eingestellten Endwert fließen lassen, sofern die Widerstandsverhältnisse der Meßzelle dies zulassen.

An den Buchsen Sollspannung [18,19] kann der Strom durch eine angelegte Sollspannung ± 0 bis **500 mV** dynamisch gesteuert werden. Die Sollspannungsgeber [5,7] müssen dann auf 0 gestellt werden.

Mit einer Ohmschen Ersatzzelle kann eine Prüfung des Potentiostaten einfach durchgeführt werden. Schließen Sie zwei Widerstände wie nachfolgend abgebildet an den Potentiostaten an.

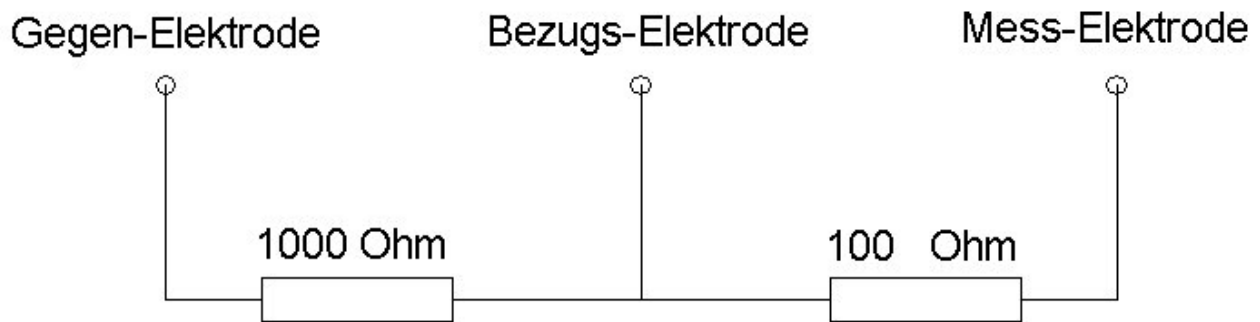


Abbildung 3

Entfernen Sie alle externen Signalleitungen, die eine Sollspannung in den Potentiostaten einspeisen könnten.

Nach dem Einschalten des Potentiostaten zeigt das DVM **[6]** 0 mV, wenn der Kippschalter I-Zelle/Ruhepotential **[25]** in Stellung I-Zelle geschaltet ist. Stellen Sie den I-Bereich **[11]** auf 10 mA und die Sollspannung **[5]** auf 1000 mV (Kontrolle am DVM **[6]**). Das μ A Meter **[10]** zeigt Vollausschlag und das Voltmeter **[2]** zeigt 11 V an. Das bedeutet, daß an dem 100 Ohm Widerstand der Ersatzzelle 1000 mV anliegen, der Strom ist:

$$\frac{1000 \text{ mV}}{100 \text{ Ohm}} = 10 \text{ mA}$$

die Ausgangsspannung ist dann:

$$U = 1100 \text{ Ohm} \times 10 \text{ mA} = 11 \text{ V}$$

Oder

$$V = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 1 + \frac{1000}{100} = 11 \text{ V}$$

An den BNC-Buchsen Ausgang mißt man:

Am U-Ausgang **[16]** = 1000 mV
 Am I-Ausgang **[14]** = 10.000 mV

Die eingebauten Instrumente zeigen:

- das Mikroamperemeter **[10]** Vollausschlag
- das DVM **[6]** 1000 mV
- das Voltmeter **[2]** 11 V.

U-Abgleich und I-Abgleich:

Mit dem Trimpotentiometer U-Abgleich [15] kann der Nullpunkt des Gerätes im μA – Bereich [10] geeicht werden. Schalten Sie den Potentiostaten passend zur obigen Testzelle in 10mA Strombereich. Schließen Sie die Testzelle wie in Abb. 3 an, entfernen Sie alle externen Sollspannungen und drehen Sie alle internen Sollwertgeber [5], [7] auf Null. Schließen Sie nun ein externes Multimeter von der Bezugselektrode gegen Erde an. Regeln Sie dann mit dem Potentiometer U-Abgleich [15] das Fremdmultimeter auf 0 mV. Danach schließen Sie das Multimeter an den I-Ausgang [14] und stellen mit dem Trimpotentiometer I-Abgleich [22] 0 mV am I-Ausgang [14] ein.

Wichtig:

Vor dem Eichen sollte der Potentiostat 1002PC.T. ca. 2 Stunden eingeschaltet sein.

IR-Kompensation

In der Zelle muß die Bezugs-Elektrode die das Potential gegen die Meßelektrode mißt in einem gewissen Abstand von der Meßelektrode angeordnet werden, da sonst keine Regelung möglich ist. Der Abstand sollte möglichst klein sein, darf aber nicht Null werden. Bei zu kleinem Abstand besteht auch die Gefahr der lokalen Abschirmung des elektrischen Feldes zwischen der Gegenelektrode und der Meßelektrode. Je nach Größe des Stromes der durch die Zelle fließt, erhält man eine Potentialverfälschung durch den Widerstand R_{Ω} , welcher im Regelkreis zwischen Bezugs-Elektrode und Meßelektrode liegt

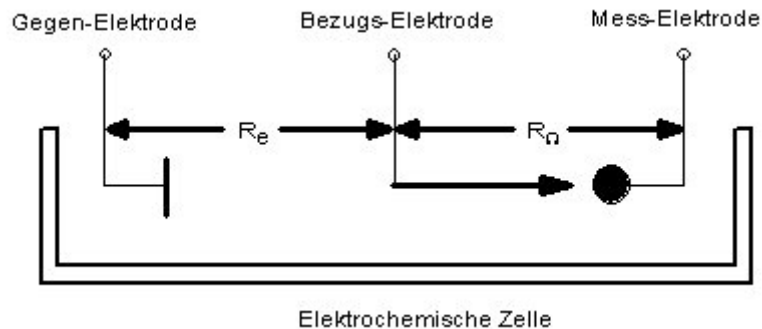


Abb. Elektrochemische Zelle

Der Elektrolytwiderstand wird mit R_e bezeichnet

Mit der IR-Kompensation kann durch die Mitkopplung im Regelkreis der Widerstand R_{Ω} fast vollständig eliminiert werden. An einer Ersatz Zelle zeigt ein einfacher Versuch, wie der Widerstand R_{Ω} kompensiert wird.

Schließen Sie eine Ersatzzelle mit folgenden Widerstandswerte an den Potentiostaten an:

$$R_e = 1000 \text{ Ohm}, \quad R_{\Omega} = 50 \text{ Ohm}, \quad R_d = 50 \text{ Ohm}$$

Schalten Sie den Potentiostaten in die Betriebsart Potentiostat [25] und auf I-Zelle [24]. Stellen Sie mit dem Potentiometer [4] eine Sollspannung von 500 mV ein (Kontrolle am DVM [5]).

Durch die Ersatzzelle fließt jetzt ein Strom von 5 mA. Bei diesem Beispiel verursacht der Widerstand R_{Ω} einen Fehler von 250 mV. Schalten Sie nun die IR-Kompensation [27] ein und drehen Sie das Potentiometer IR-KOMP [26] hoch bis am R_d Widerstand (Fühlerleitung gegen Erde) 500 mV eingestellt sind.

Ergebnis:

Durch die Ersatz-Zelle fließt nun ein Strom von 10 mA. Das eingebaute DVM zeigt 1000 mV, R_{Ω} ist kompensiert.

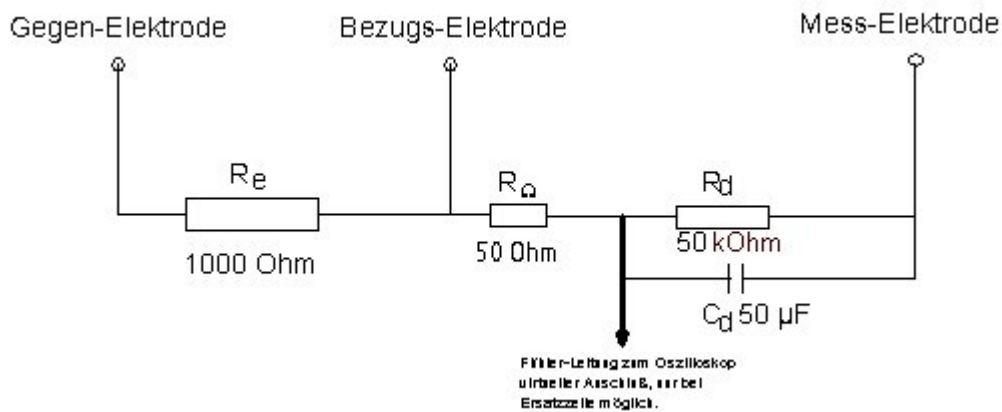


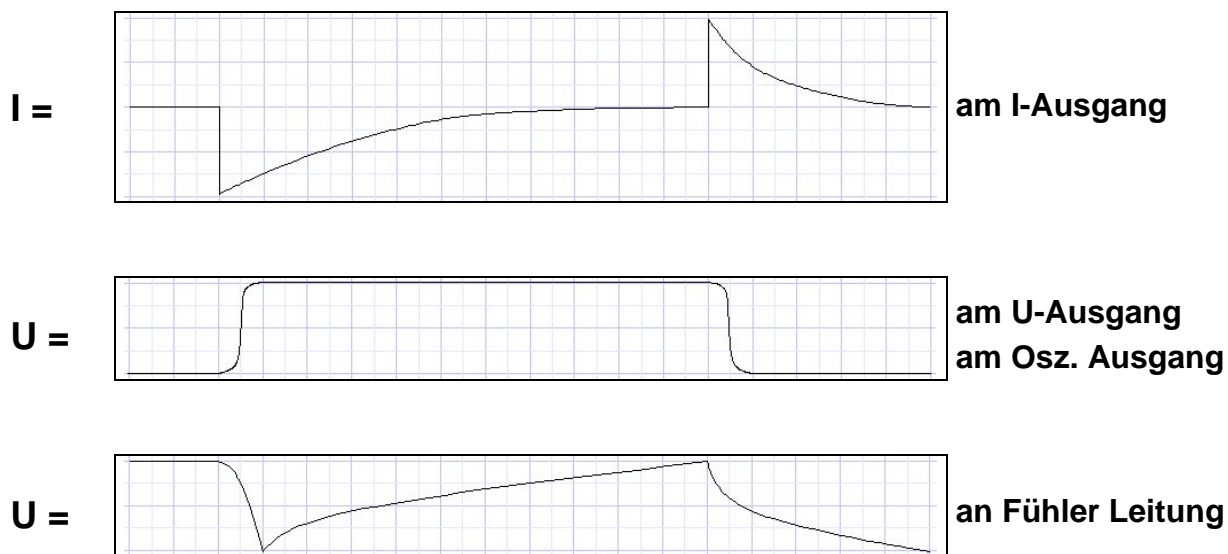
Abb. Ersatz Zelle mit Fühlerleitung

Eine Ersatzzelle mit den Werten

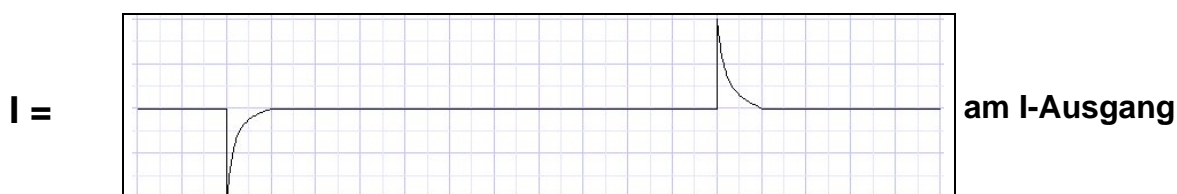
$$R_e = 1000 \text{ Ohm}, R_{\Omega} = 50 \text{ Ohm}, R_d = 50 \text{ K Ohm} \text{ und } C_d = \text{ca. } 50 \mu\text{F}$$

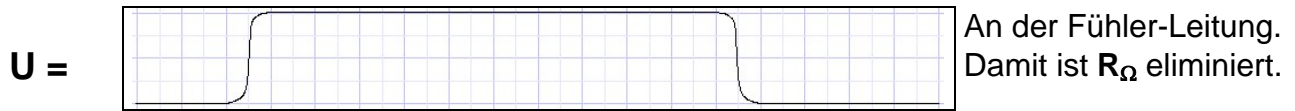
kann einer Elektrochemischen Meßzelle entsprechen.

Legen Sie am U-Eingang ein Rechtecksignal mit einer Amplitude zwischen 100 und 500 mV mit einer Frequenz zwischen 100 und 500 Hz an. Am Oszilloskop sieht man ohne IR-Kompensation folgendes Bild:



Nach Einschalten der IR-Kompensation und aufdrehen am Potentiometer wird





Beim weiteren aufdrehen des Potentiometers IR-Kompensation **[26]** neigt das Gerät zum schwingen (Überkompensation).

Dieser Punkt wird bei der echten elektrochemischen Zelle, bei der keine Fühler-Leitung angeschlossen werden kann, als Indikator benutzt. Tritt das Überschwingen auf, ist das Potentiometer IR-Kompensation etwas zurückzudrehen. Nun ist R_{Ω} praktisch eliminiert.

Computer-Unterstützung

Wenn Sie den Potentiostaten mit dem Computer steuern und die Meßwerte aufzeichnen wollen, so müssen Sie die Mess- und Signalleitungen des Automatisierungssystems an den Potentiostaten anschließen.

Nun können Sie über die BNC-Buchse an der Geräterückseite die Betriebsart Ruhepotential/I-Zelle schalten. Der Schaltkontakt ist je nach Baujahr des Potentiostaten entweder potentialfrei oder ein 5 V TTL-Pegel.

An den Buchsen U-Ausgang **[16]** und I-Ausgang **[14 bzw. Rückseite]** können Sie mit Ihrer Datenerfassung Potential und Strom messen.

Weitere Hinweise können Sie auch im Kapitel Installation der Systembeschreibung zu unserer Software **EcmWin** entnehmen (sofern Sie ein ELCM-Kit erworben haben).

Elektrische Daten

Aufbau:	
• Instrumente zur Potentialmessung	Digital, 3 ½ stellig, ± 1999 mV
• Instrument U-Ausgang Gegen-Elektrode Mess-Elektrode	Indikator LED und Analoganzeige der Aussteuer-Spannung
• Instrumente zur Strommessung	analog, 0 - ± 100%, proportional zum eingestellten I-Bereich
• Sollspannung Potentiostat	2 Eingänge für extern, 2 Sollspannungsgeber intern
• Sollspannung Galvanostat	Die gleichen Elemente wie für Potentiostat
• I-Bereich	manuell, 9 Bereiche
• Betriebsart Potentiostat/Galvanostat	manuell
• U-Ruhe/I-Zelle	manuell und automatisch durch externen TTL-Pegel (0/5V)
• empfohlener Frequenzbereich	0 bis 2 kHz (je nach eingestelltem Strombereich)
• IR-Kompensation	Nein
Maße: (BxHxT)	

Aussteuerbereich	Intern
• U-Soll für Potential	± 1000 mV und ± 2000 mV
• U-Soll für I-Konstant	± 1000 mV
	Sollspannung fremd
• U-Eingang	± 8 V
• I-Eingang	Gleiche Eingangs-Buchse max ± 1 V für Vollaussteuerung
	Ausgänge
• U-Ausgang	± 10 V
• I-Ausgang	± 100mA max. als proportionales Spannungssignal
Ein-/Ausgangswiderstände	
Innenwiderstand der Strommessung	Ca. $10^{-4} \Omega$
Eingangswiderstand Bezugselektrode	Ca. $10^{15} \Omega$
Eingangswiderstand Sollspannung fremd	10 K Ω (U- / I-Eingang)
Anstiegsgeschwindigkeit	10.000V/sec.
Strommessung	Analog
• I-Bereiche	100mA bis 1nA
• Genauigkeit	0,25 %
• I-Ausgang	9 Bereiche, 10000mV
Spannungsmessung	Analog
• U-Ausgang	± 10V, 0,1%
• Digitalvoltmeter	3 ½ stellig, bis ± 1999 mV, 0,25%
U-Gegen Elektrode-Mess-Elektrode	± 10 V
Nullpunktstabilität:	
• Bei Netzschwankung um 10%	Ca. 30 μ V
Brumm-Rauschen	Ca. 10 μ V (50 Hz)
Drift	ca. 100 μ V/Tag ca. 30 μ V/°C
Phasenverschiebung	
Log. Ausgang	Nein
Automatische I-Bereichsumschaltung	Nein